

EL POTENCIAL DEL FTIR EN LA DETERMINACIÓN DE SACAROSA PRESENTE EN LA REMOLACHA (*BETA VULGARIS L.*)

Autores: MSc Abilio Santos Malengue¹, Dr. Salvador Hernández Navarro², Dra. Paula Carrión Prieto².

Resumen

54

La investigación se desarrolló con el objetivo de caracterizar mediante FTIR los compuestos orgánicos en tres variedades de Remolacha (*Beta vulgaris L.*). Las muestras preparadas fueron analizadas y caracterizadas mediante espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), utilizando un espectrofotómetro Thermo Scientific, modelo Nicolet iS50 FT-IR con un rango de lectura de 400-4000 cm^{-1} . Usando de forma conveniente, el FTIR permitió determinar y analizar los distintos compuestos presentes en la remolacha, que es la materia prima más importante para la producción de azúcar, tanto en España, como en todo el espacio europeo. Se ha constatado que el contenido de sacarosa difiere según localidades, en unas, la variedad Sandrina tiene mayores registros y en otras, es Dulzata o Amalia. Sin embargo, la producción de la misma puede relacionarse con el área de pico, de modo que es Sandrina la más idónea para su explotación ya que ofrecerá un mayor rendimiento económico.

Palabras claves: Compuestos orgánicos, FTIR, Remolacha, Sacarosa.

Introducción

Los azúcares son conocidos por el hombre hace por lo menos 3000 años, primitivamente bajo la forma exclusiva de miel y su consumo generalizado es un hecho relativamente nuevo (Amaral, 1978). La mayor parte de las plantas verdes contienen azúcar en una u otra proporción, pero industrialmente solo ofrecen

¹ Facultad de Ciencias Agrarias (Chianga) de la Universidad José Eduardo dos Santos, Huambo / Angola.
Email: abiliosantosmalengue@gmail.com

² Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias (Campus Palencia), de la Universidad de Valladolid/ España.

interés la caña y la remolacha azucarera. Además la remolacha se parece con la caña con relación el valor energético. Sin embargo, el contenido de vitamina A es completamente diferente apenas presenta unos microgramos, posee un alto contenido de ácido fólico, alcanzado los 90 µg / 100g, también son dignos de destaque los 10 µg de vitamina C por cada 100g. Entre los minerales, el potasio vuelve a ser protagonista, acompañando a la distancia por el hierro y el magnesio (Pinto, 2007).

Villarías-Moradillo, (2000) hace un recorrido por la historia del cultivo en el que se explica que las características de las cualidades azucaradas de la remolacha ya fue citada por Teofrasto, Galeno y Dioscórides en la antigüedad. En el siglo XVIII el químico alemán Margraff comenzó a estudiar la posibilidad de extraer azúcar de unas remolachas muy primitivas que solamente contenían un 6% de azúcar y obtuvo en 1747 por primera vez azúcar cristalizado.

La remolacha (*Beta vulgaris* L.) pertenece a la familia de las Quenopodiáceas y se considera originaria de las regiones mediterráneas y Asia occidental. Presenta la raíz tuberosa de forma globular que se desarrolla casi a la superficie del suelo, acentuadamente con sabor dulce y color púrpura (Silva et al., 2015). Según Tamaro y Caballero, (1988) la remolacha se adapta en cualquier clima pero es propia para cultivarse en regiones altitudinales, bajas e intermedias, y climas relativamente fríos o templados en altitudes superiores a los 500 metros sobre el nivel de mar debido a su sensibilidad a las bajas temperaturas. La remolacha es utilizada, bien para el cultivo como forraje, o bien como materia prima para la producción de azúcar, siendo ésta última utilizada largamente en Europa (Silva et al., 2015). El área cultivada con remolacha en la cosecha 2016/2017 en la Unión Europea (UE) fue un 5,6% superior a la cosecha anterior (FAO, 2018). El grafico 1 presenta la serie de producción de remolacha en toneladas en la Unión Europea

Espectroscopia de absorción infrarroja

La espectrometría de absorción en el infrarrojo es una técnica de análisis que se ha demostrado de gran precisión y rapidez y es muy versátil y de bajo coste (Herrera, 2009). El infrarrojo comprende aproximadamente la parte del espectro

electromagnético situado entre las regiones del visible y microondas (Silverstein *et al.*, 2010). Las regiones del infrarrojo pueden ser vistas en la tabla 1.

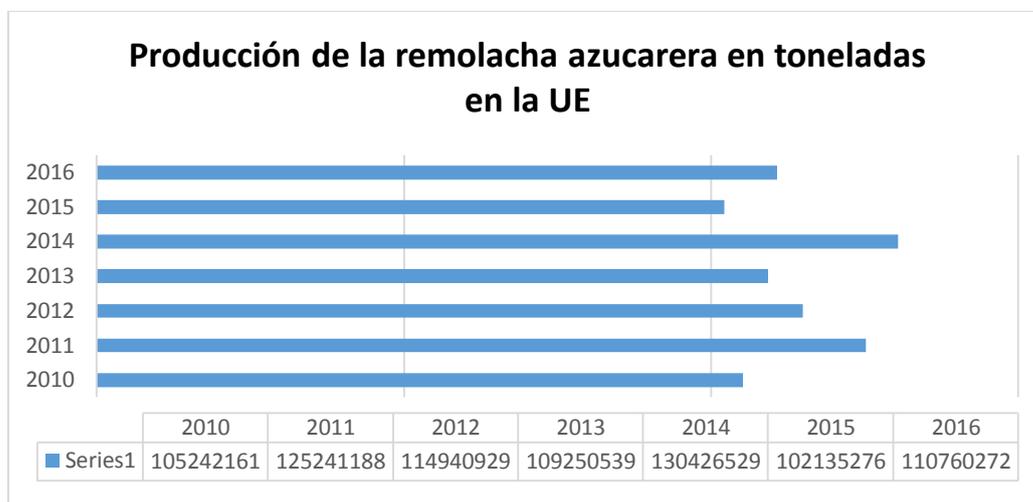


Gráfico 1. Serie temporal de la Producción por tonelada de la remolacha en la UE. Fuente: Adaptado (FAO, 2018)

Existen muchas técnicas de análisis de azúcares. La espectroscopia infrarroja media (MIR) puede ser utilizada para medir los modos fundamentales de vibración de los grupos funcionales sin embargo existe el problema de la fuerte absorción de los rayos MIR por el agua presente en los alimentos (Zara *et al.*, 2017). Por lo tanto, el infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR) combinada con la Reflectancia Total Atenuada (ATR) ha sido una técnica espectroscópica ampliamente usada como herramienta para el estudio de azúcares (Kanou *et al.*, 2017).

Tabla 1. Regiones Espectrales del infrarrojo. Fuente: (Silverstein, *et al.*, 2010).

Región	Intervalo del longitud de onda, μm	número de onda, cm^{-1}	frecuencia, Hz
Cercano - NIR	0,78 a 2,5	12800 a 4000	$3,8 \times 10^{14}$ a $1,2 \times 10^{14}$
Medio - MIR	2,5 a 50	4000 a 200	$3,8 \times 10^{14}$ a $1,2 \times 10^{14}$
Lejano - FIR	50 a 1000	200 a 10	$3,8 \times 10^{14}$ a $1,2 \times 10^{14}$

Particularmente, en la región del espectro infrarrojo medio (MID) se pueden observar cambios en las bandas de absorción asociadas a determinadas especies químicas. En la región infrarroja MID, se ofrece información acerca de

los grupos funcionales de moléculas de estructura desconocida. La espectroscopia infrarroja acoplada a análisis multivariable ofrece un número de ventajas importantes sobre los métodos químicos tradicionales: no es destructiva, es rápida, disminuye el uso de reactivos tóxicos y perjudiciales para el medio ambiente, es un método de rutina, requiere una mínima cantidad de muestra y la precisión es alta (Cozzolino *et al.*, 2011).

Material y métodos

El estudio se llevó a cabo en la comunidad de Castilla y León, ubicada en la parte septentrional de la meseta central. Con una superficie que supera los 94000 km² representa cerca de 20% del territorio peninsular correspondiente a la quinta parte del territorio español, dentro del cual ocupa una situación crucial en los grandes ejes que conectan la capital del país con las regiones de la España atlántica (Lanuza, 2006).



Figura 1. Situación de Castilla y León dentro de la Península Ibérica y de las azucareras que operan actualmente. Fuente: (Sánchez- Sastre, 2016).

Método

La espectrometría de absorción infrarroja es un método instrumental empleado principalmente en química analítica y basado en la interacción de la radiación electromagnética con una muestra u objeto, para identificarlo o caracterizarlo (Curran, Dungan y Peterson, 2001). Dada la alteración de la radiación al

interactuar con las especies químicas presentes, a una frecuencia específica a lo largo del tiempo, se pueden medir cambios en el carácter o la cantidad de un enlace particular. Esto es especialmente útil para medir el grado de polimerización en los azúcares y/o en la células presente en la remolacha (Armenta, Garrigues y de la Guardia, 2007).

Variedades utilizadas

Se utilizaron tres variedades: Sandrina, Amalia y Dulzata respectivamente. Las mismas fueron sembradas durante un estudio que se llevó a cabo durante dos campañas agrícolas. En la primera campaña se utilizaron las variedades Sandrina y Dulzata. En la segunda campaña fueron sembradas las variedades Sandrina y Amalia (esta última de comportamiento similar a Dulzata, para su posible comparación).

Preparación de las muestras

Se seleccionan 36 plantas previamente procesadas y para poder cuantificar y mejorar la precisión de la técnica de FTIR, se prepararon las muestras dispersas en una matriz de bromuro potásico (KBr). Las mismas muestras fueron secadas en una estufa durante las 24 horas. Se utilizó una balanza analítica de precisión de décimas de miligramo, y se fue pesando una cantidad de aproximadamente 35 mg de muestra. Las muestras se completaban con KBr hasta unos 750 mg La composición de las pastillas de KBr de las muestras analizadas de raíces de la remolacha, mediante FTIR, se muestra en la tabla 3. Los códigos de las tablas representan las diversas localidades donde fueran cogidas, siendo Laguna de Negrillos (L), Magaz de Pisuerga (M), Plampliega (P), Tordesillas (T), Vertadillo (VT) y Villavieja (W).

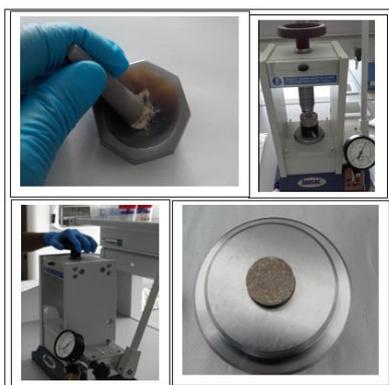


Figura 2. Resumen esquemático para la preparación de la pastilla con KBr.

Tabla 2. Composición de las pastillas de las raíces de la remolacha para su análisis por FTIR

Código	Peso muestra (mg)	Mezcla remolacha/KBr (mg)	Porcentaje (%)
L2AR	38	748	5,08
L5BR	39	724	5,38
L9BR	42	735	5,71
LS1.1R	41	722	5,67
L-S1.3R	40	731	5,47
M11BR	33	730	4,52
M2BR	35	731	4,78
M3AR	36	729	4,93
M5AR	42	747	5,62
M5BR	32	732	4,37
M6AR	34	730	4,65
M7AR	34	751	4,52
M9AR	38	730	5,20
PA2.3R	37	740	5,00
PS1.3R	32	734	4,35
PS4.1R	34	750	4,53
PS4.2R	34	732	4,64
PS4.3R	35	736	4,75
T5AR	44	750	5,86
T5BR	38	731	5,19
T8BR	34	743	4,57
T9BR	42	810	5,18
T10AR	35	731	4,78
T11BR	32	544	5,88
VTA3.1R	37	741	4,99
VTA4.1R	35	738	4,74
VTA12R	35	759	4,61
VTS23R	43	762	5,64

VTS31R	39	730	5,34
VTS41R	36	728	4,94
WA21R	33	740	4,45
WA31R	39	734	5,31
WA33R	40	736	5,43
WA42R	51	804	6,34
WS21R	37	745	4,97
WS33R	38	744	5,10

Análisis y caracterización de las muestras

Las muestras preparadas fueron analizadas y caracterizadas mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), utilizando un espectrofotómetro de *Thermo Scientific*, modelo Nicolet iS50 FT-IR con un rango de lectura de 400-4000 cm^{-1} . Se utilizó el programa OMNIC 9.3.32 (*Thermo Scientific*) para la recogida y análisis de los espectros.

Las muestras analizadas se agruparon mediante un promedio espectral de muestras coincidentes en variedad, procedencia y año. De las 36 muestras, finalmente se ofrecen 14 espectros (Figura 3), con corrección de la línea base para el correcto estudio de las vibraciones moleculares (Figura 8), y su posterior relación con área de picos. Para el análisis estadístico, se utilizó el programa IBM SPSS Statistics 24.0 y se siguió la codificación especificada en la tabla 3.

Tabla 3. Codificación utilizada: LD DUL (Dulzata, origen León); LD SAN (Sandrina, origen León); MP DUL (Dulzata, origen Palencia); MP SAN (Sandrina, origen Palencia); TOR DUL (Dulzata, origen Valladolid); TOR SAN (Sandrina, origen Valladolid); LAG AM (Amalia, origen Valladolid); LAG SAN (Sandrina, origen Valladolid); PAM AM (Amalia, origen Burgos); PAM SAN (Amalia, origen Burgos); VER AM (Amalia, origen Palencia); VER SAN (Sandrina, origen Palencia); VILL AM (Amalia, origen Palencia); VILL SAN (Sandrina, origen Palencia).

Número	Localidad	Provincia	Variedad	Año	Código
1	Laguna de Negrillos	León	Dulzata	2011	LD DUL
2	Laguna de Negrillos		Sandrina	2011	LD SAN
3	Magaz de Pisuerga	Palencia	Dulzata	2011	MP DUL
4	Magaz de Pisuerga		Sandrina	2011	MP SAN
5	Tordesillas	Valladolid	Dulzata	2011	TOR DUL

6	Tordesillas		Sandrina	2011	TOR SAN
7	Laguna	Valladolid	Amalia	2012	LAG AM
8	Laguna		Sandrina	2012	LAG SAN
9	Pampliega	Burgos	Amalia	2012	PAM AM
10	Pampliega		Sandrina	2012	PAM SAN
11	Vertavillo	Palencia	Amalia	2012	VER AM
12	Vertavillo		Sandrina	2012	VER SAN
13	Villavieja	Valladolid	Amalia	2012	VILL AM
14	Villavieja		Sandrina	2012	VILL SAN

Resultados y discusión

Espectros

Los espectros se recogieron en el infrarrojo medio, entre 4000 y 400 cm^{-1} . En la **figura 3**, se observan todas las muestras analizadas con sus distintos grupos funcionales y las longitudes de onda de los picos de absorción. Para la comparación de los espectros llevó a cabo la corrección tanto de la escala (a una común), como de la línea base.

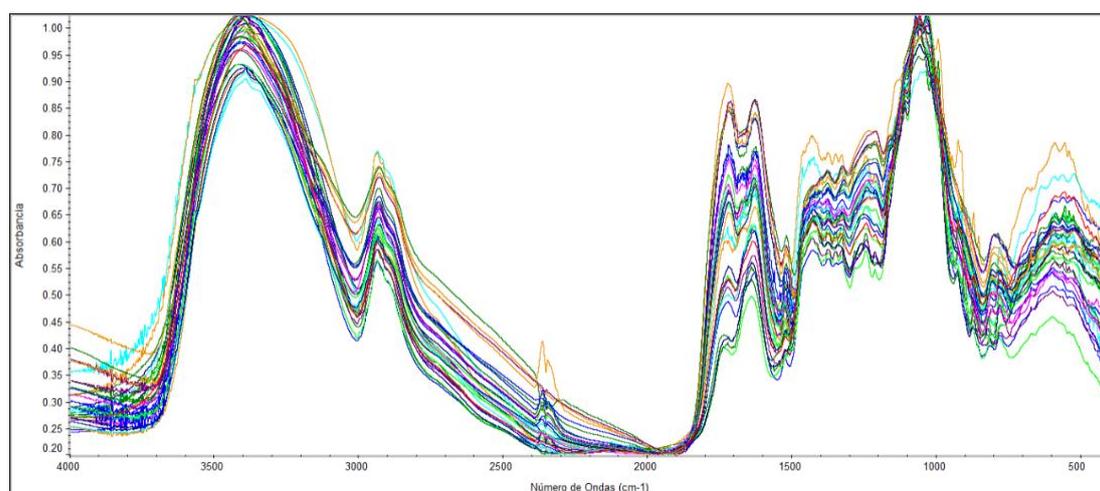


Figura 3. Espectros de absorción de la totalidad de las muestras de raíz de remolacha en el infrarrojo medio.

La figura 4 representa los espectros con correcciones de base la región de la huella dactilar, que es aquella región del espectro en la que pequeñas diferencias en la estructura y la constitución de una molécula dan por resultado cambios importantes en la distribución de los picos de absorción. Como consecuencia, la correspondencia de dos espectros en esta región constituye una prueba de su identidad (Martínez, 2007). Comparando las variedades de remolacha en la localidad de Tordesillas (figura 5), se aprecia una mayor absorbancia espectral de los grupos funcionales de la variedad de Dulzata (en azul) y una menor absorbancia de los de la variedad Sandrina (en rojo), en toda la región del infrarrojo medio. En cambio, en otras localidades (Magaz de Pisuerga) difieren las absorbancias según la zona observada (figura 6). En Laguna de Negrillos, los espectros de las dos variedades son muy similares, entrelazándose según la zona observada.

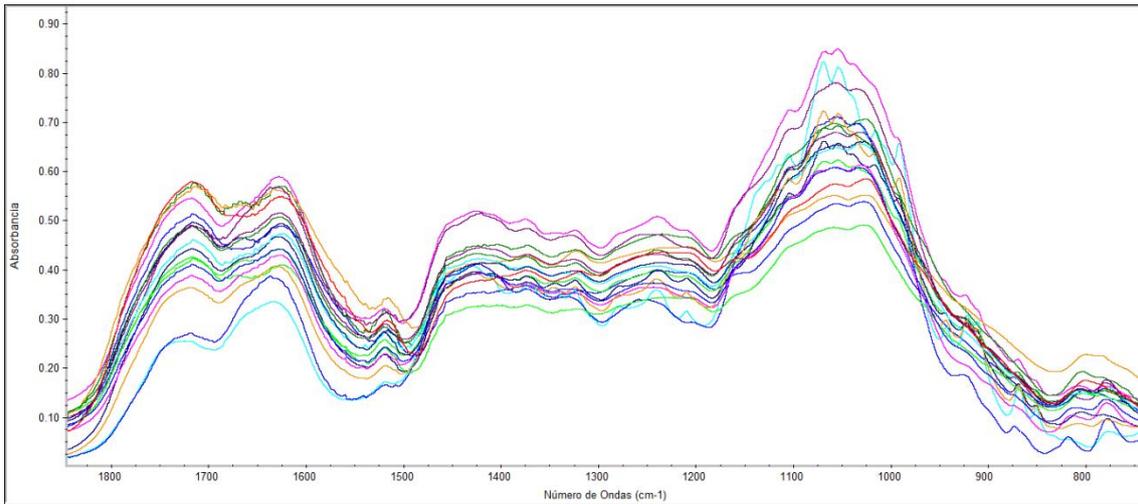


Figura 4. Medias por localidad y variedad de la raíz de remolacha, y de sus respectivas medias anuales, en el rango de la huella dactilar con corrección de base.

En Magaz de Pisuerga, como se ha dicho, únicamente tiene mayor absorbancia las vibraciones de los grupos funcionales presentes en la variedad Sandrina y en Tordesillas es la absorbancia de la variedad Dulzata claramente superior en todo el espectro.

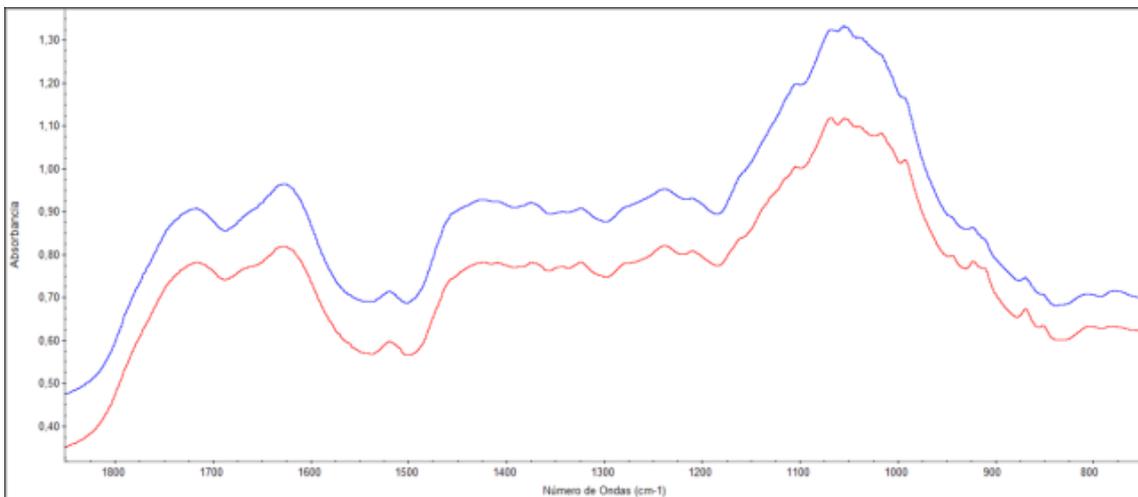


Figura 5. Comparación de la huella dactilar de las variedades Sandrina (rojo) y Dulzata (azul) de Tordesilla, en la primera campaña agrícola.

Se ha notado que la remolacha tiene grupos funcionales CH con bandas intensas de absorción en el rango de número de onda de $3,000$ a $2,800\text{ cm}^{-1}$ y especialmente de 1500 a 900 cm^{-1} (Damazio *et al.*, 2015). Éste último intervalo se corresponde con la región de la huella dactilar. En cuanto a la sacarosa, se presentan vibraciones de los enlaces C-H, O-H, C-C, y C-O, con picos de

absorción relativamente pequeños (Pan *et al.*, 2015), y los picos de absorción más intensos corresponden a las vibraciones de los grupos funcionales (CH₂-OH) que se presentan a 1056 cm⁻¹ (Garrigues, 2000).

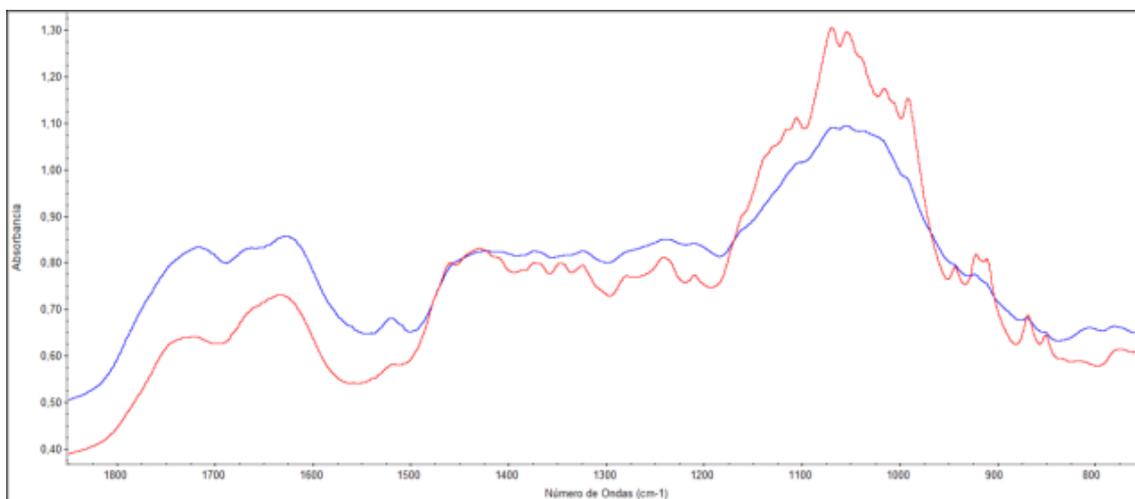


Figura 6. Comparación de la huella dactilar de las variedades Sandrina (rojo) y Dulzata (azul) de Magaz de Pisuerga, en la primera campaña agrícola

Así en tabla 3 se recogen las vibraciones y números de onda de diferentes especies químicas presentes en las variedades de remolacha azucarera según Garrigues, 2000; Salas *et al.*, 2008 y Ftirsearch, 2016; y en la tabla 6 se reflejan los valores de las absorbancias para las longitudes de onda seleccionadas y de cada muestra y variedad codificada.

Tabla 4. Asignaciones de las vibraciones de los grupos funcionales de diferentes especies químicas y para diferentes variedades de remolacha (Garrigues, 2000; Salas *et al.*, 2008 y Ftirsearch, 2016).

Número de onda (cm ⁻¹)	Grupos funcionales	Especie química
3292	CH, NH o NH ₂	Pectina
2921	CH, CH ₂ , CH ₃	Celulosa
1619	COO	Lignina
1415	COO, CH=CH ₂ , CO, COOH, C-CH ₃	Hemicelulosa
1319	CH ₃ -Si	Celulosa
1080	CH ₂ -OH	Sacarosa
1056	CH ₂ -OH	Sacarosa
1030	CH ₂ -OH,	Hemicelulosa
980	CH=CH ₂	Eteno

Código muestra	3292	2921	1619	1415	1319	1080	1056	1030	980
2011 LN DUL	0,556	0,428	0,483	0,351	0,356	0,508	0,532	0,536	0,385
2011 LN SAN	0,621	0,485	0,543	0,376	0,395	0,544	0,573	0,58	0,433
2011 MP DUL	0,643	0,438	0,434	0,388	0,378	0,587	0,619	0,602	0,442
2011 MP SAN	0,837	0,433	0,315	0,386	0,341	0,722	0,798	0,7	0,534
2011 TOR DUL	0,926	0,603	0,578	0,512	0,474	0,784	0,844	0,802	0,576
2011 TOR SAN	0,68	0,454	0,457	0,389	0,37	0,603	0,651	0,616	0,466
2012 LAG AM	0,738	0,537	0,562	0,447	0,437	0,667	0,696	0,703	0,505
2012 LAG SAN	0,602	0,484	0,554	0,411	0,435	0,53	0,549	0,548	0,434
2012 PAM AM	0,884	0,487	0,362	0,403	0,332	0,672	0,708	0,694	0,454
2012 PAM SAN	0,955	0,628	0,553	0,508	0,462	0,742	0,778	0,765	0,548
2012 VER AM	0,518	0,396	0,404	0,323	0,318	0,469	0,484	0,488	0,361
2012 VER SAN	0,755	0,527	0,467	0,419	0,389	0,623	0,647	0,655	0,462
2012 VILL AM	0,727	0,487	0,421	0,388	0,348	0,588	0,606	0,612	0,413
2012 VILL SAN	0,727	0,515	0,487	0,411	0,394	0,627	0,652	0,658	0,464

Tabla 5. Valores de absorbancia para la longitud de onda seleccionada (cm^{-1}) y para cada muestra y variedad de remolacha codificada.

Como se observa en la figura 7, los grupos funcionales de la variedad Dulzata recogida en 2011, presenta mayores valores de absorbancia en la localidad de Tordesillas en todos los picos analizados.

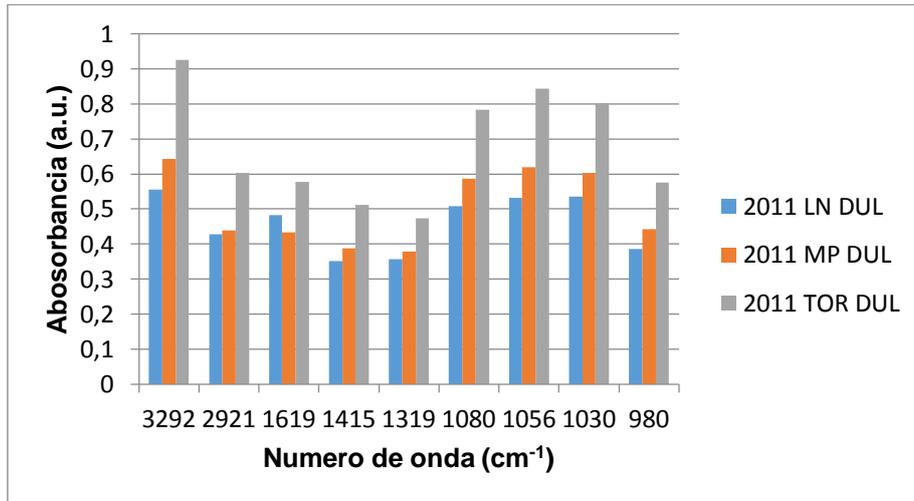


Figura 7. Histograma de absorciones a distintos números de onda de la variedad Dulzeta en 2011 en las distintas localidades.

También de 2011 y reflejado en la figura 8, la variedad Sandrina varía la absorbancia con el número de onda analizado en mayor medida que atendiendo a la localidad. De tal modo, la remolacha de Magaz de Pisuerga registra valores mucho mayores de absorbancia en relación a los grupos funcionales presentes en la pectina, sacarosa, hemicelulosa y eteno (3292 y 1080-980 cm⁻¹). Por otro lado, no se encuentran diferencias en las absorbancias a 1415 cm⁻¹ del grupo funcional CH₂OH de la sacarosa en raíz de la variedad Sandrina en 2011.

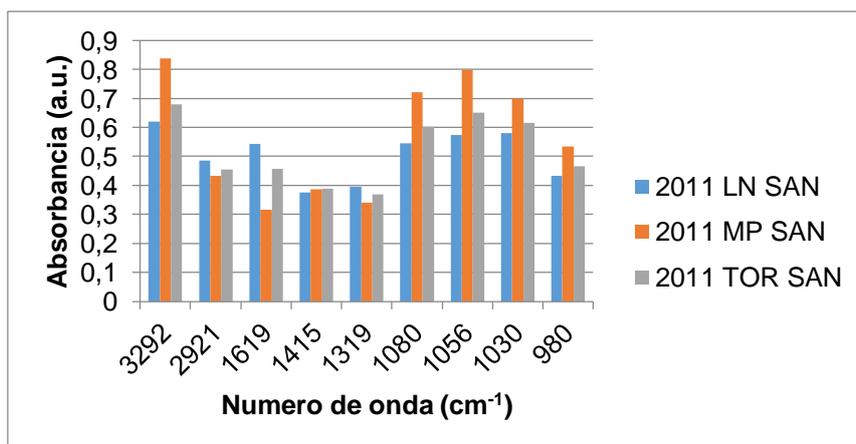


Figura 8. Histograma de absorciones a distintos números de onda de la variedad Sandrina en 2011 en las distintas localidades.

Respecto a los números de onda 2921 de celulosa, 1619 de lignina y 1319 cm^{-1} de celulosa, Laguna de Negrillos es quién registra más absorbanza para las tres longitudes de onda, seguido de Tordesillas y Magaz de Pisuerga; y por lo tanto, quién presenta mayor rendimiento en materiales lignocelulósicos.

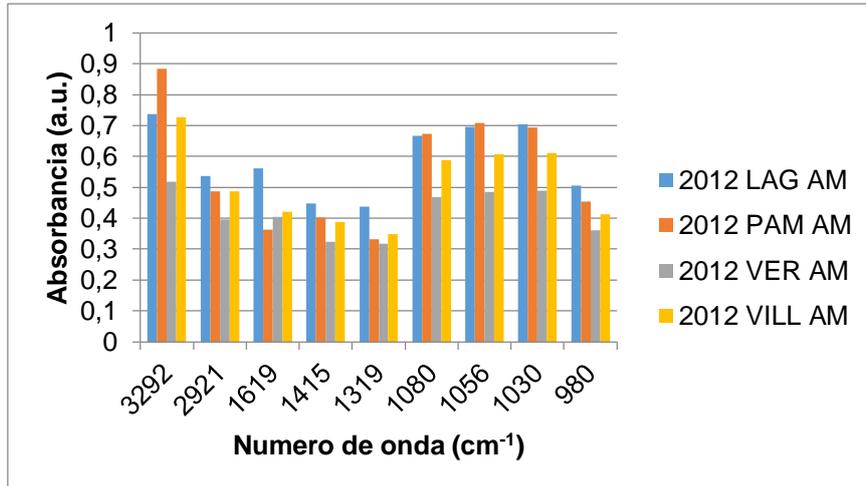


Figura 9. Histograma de absorciones a distintos números de onda de la variedad Amalia en 2012 en las distintas localidades.

Por último, la variedad Sandrina en 1012 difiere de la variedad anterior en que el orden de magnitud de los registros se mantiene constante (exceptuando el contenido de lignina en 1619 cm^{-1}). La localidad de Pampliega difiere hasta en dos décimas los valores de absorbanza en algunos puntos, seguido de Villa vieja y Vertavillo con valores muy próximos entre sí y dejando en último lugar Laguna, salvo para el contenido de lignina antes mencionado, con absorbanza similar a la de Pampliega.

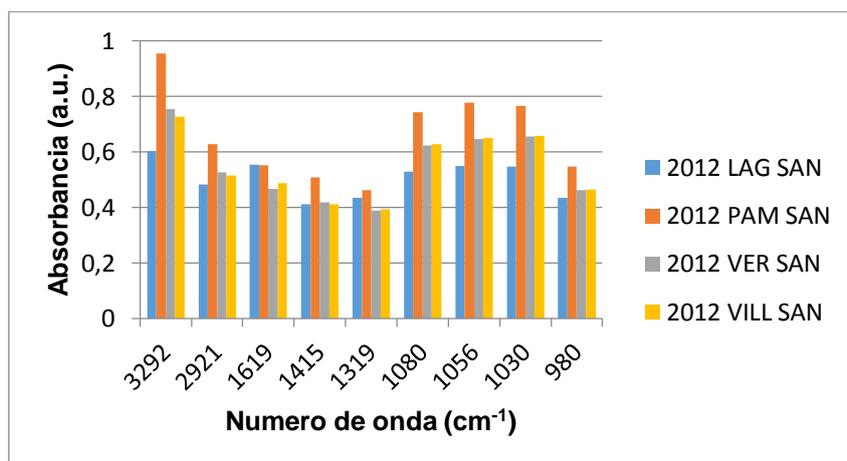


Figura 10. Histograma de absorciones a distintos números de onda de la variedad Sandrina en 2012 en las distintas localidades.

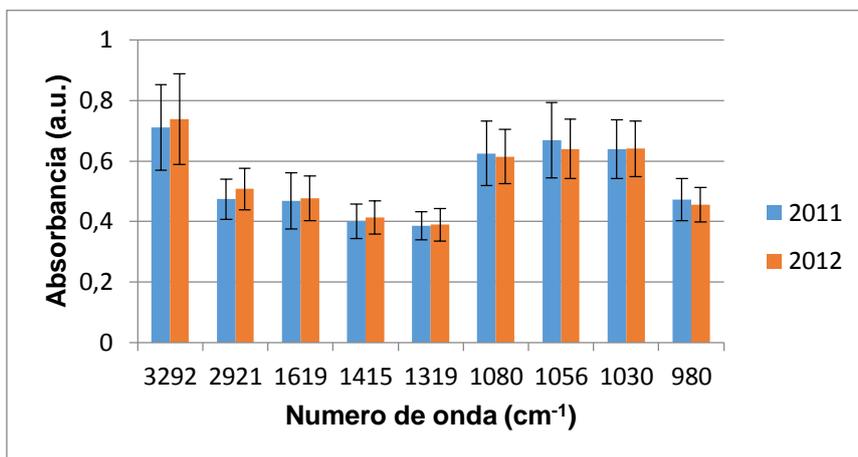


Figura 11. Histograma comparativo de absorciones a distintos números de onda en 2011 y 2012.

Además de la comparativa anual (figura 11), dadas las desviaciones que presentan los datos, se considera precipitado utilizar un registro temporal debido a la mayor influencia a nivel geográfico que el propio año de cosecha. Por lo tanto, se hizo también las correlaciones entre localidades y variedades de las dos épocas agrícolas de las cuales se nota que, el lugar geográfico presenta más importancia en la producción de sacarosa que la variedad utilizada.

Tabla 6. Correlaciones entre localidades y variedades de 2011

		2011 LN DUL	2011 LN SAN	2011 MP DUL	2011 MP SAN	2011 TOR DUL	2011 TOR SAN
2011 LN DUL	Pearson Correlation	1	,991**	,924**	,788*	,926**	,932**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,012	,000	,000
	N	9	9	9	9	9	9
2011 LN SAN	Pearson Correlation	,991**	1	,890**	,748*	,903**	,906**
	Sig. (2-tailed)	,000		,001	,021	,001	,001
	N	9	9	9	9	9	9
2011 MP DUL	Pearson Correlation	,924**	,890**	1	,961**	,992**	,996**
	Sig. (2-tailed)	,000	,001		,000	,000	,000
	N	9	9	9	9	9	9
2011 MP SAN	Pearson Correlation	,788*	,748*	,961**	1	,953**	,957**
	Sig. (2-tailed)	,012	,021	,000		,000	,000
	N	9	9	9	9	9	9
2011 TOR DUL	Pearson Correlation	,926**	,903**	,992**	,953**	1	,994**
	Sig. (2-tailed)	,000	,001	,000	,000		,000
	N	9	9	9	9	9	9
2011 TOR SAN	Pearson Correlation	,932**	,906**	,996**	,957**	,994**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,001	,000	,000	,000	
	N	9	9	9	9	9	9

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tabla 7. Correlaciones entre localidades y variedades de 2012

		2012 LAG AM	2012 LAG SAN	2012 PAM AM	2012 PAM SAN	2012 VER AM	2012 VER SAN	2012 VILL AM	2012 VILL SAN
2012 LAG AM	Pearson Correlation	1	,907**	,929**	,949**	,998**	,971**	,962**	,990**
	Sig. (2-tailed)		,001	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9
2012 LAG SAN	Pearson Correlation	,907**	1	,756*	,841**	,920**	,849**	,840**	,875**
	Sig. (2-tailed)	,001		,018	,004	,000	,004	,005	,002
	N	9	9	9	9	9	9	9	9
2012 PAM AM	Pearson Correlation	,929**	,756*	1	,985**	,925**	,983**	,986**	,968**
	Sig. (2-tailed)	,000	,018		,000	,000	,000	,000	,000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9
2012 PAM SAN	Pearson Correlation	,949**	,841**	,985**	1	,954**	,994**	,996**	,981**
	Sig. (2-tailed)	,000	,004	,000		,000	,000	,000	,000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9
2012 VER AM	Pearson Correlation	,998**	,920**	,925**	,954**	1	,974**	,966**	,991**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9
2012 VER SAN	Pearson Correlation	,971**	,849**	,983**	,994**	,974**	1	,999**	,995**
	Sig. (2-tailed)	,000	,004	,000	,000	,000		,000	,000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9
2012 VILL AM	Pearson Correlation	,962**	,840**	,986**	,996**	,966**	,999**	1	,990**
	Sig. (2-tailed)	,000	,005	,000	,000	,000	,000		,000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9
2012 VILL SAN	Pearson Correlation	,990**	,875**	,968**	,981**	,991**	,995**	,990**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,002	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	9	9	9	9	9	9	9	9

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Conclusiones

1. Del estudio de espectroscopia infrarroja se han seleccionado las longitudes de onda y se han determinado las absorciones de enlaces específicos en moléculas orgánicas: pectina, celulosa, lignina, hemicelulosa, sacarosa y eteno (3292, 2921 y 1319, 1619, 1415 y 1030, 1080 y 1056 y 980 cm^{-1} , respectivamente); cuantificándose en base a sus absorciones.
2. Del análisis estadístico mediante correlaciones bivariadas se concluye que el lugar geográfico presenta más importancia en la producción de sacarosa que la variedad utilizada.
3. De los histogramas realizados, se concluye mediante FT-IR que las absorbancias de los grupos funcionales de la sacarosa son muy

superiores al resto de los grupos funcionales presentes en pectina, celulosa, lignina, hemicelulosa y eteno; y, por consiguiente, la riqueza en sacarosa predomina sobre el resto de las especies químicas.

4. El contenido de sacarosa difiere según localidades, en unas la variedad Sandrina tiene mayores absorbancias y en otras, es la variedad Dulzata o Amalia. Las relaciones altura/área para distintas longitudes de onda de las especies químicas estudiadas (pectina, celulosa, lignina, hemicelulosa y sacarosa) sirven para cuantificar la producción de sacarosa de las raíces de remolacha.

Bibliografía

1. Amaral, J. D. A Beterraba Sacarina. 1ª Edição. Porto: Clássica Editora. 1978
2. Armenta, S., Garrigues, S. and de la Guardia, M. Partial least squares-near infrared determination of pesticides in commercial formulations. *Vibrational Spectroscopy*, 44(2), pp.273-278. 2007.
3. Cozzolino, D., Cynkar, W., Shah, N. y Smith, P. Multivariate data analysis applied to spectroscopy: Potential application to juice and fruit quality. *Food Research International*, 44(7), pp.1888-1896. 2011.
4. Curran, P., Dungan, J. Peterson., D. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry. *Remote Sensing of Environment*, 76(3), pp.349-359. 2001
5. Damazio, D., Santos, R., Diniz, M., Mattos, E. and Dutra, R. Determinação do teor de ENB em EPDM (elastômero puro) por FT-IR de transmissão, por meio de banda relativa. *Polímeros*, 25(2), pp.181-185. 2015.
6. FAOSTAT. Retrived from <http://www.fao.org/faostat/es#compare>. 2018.
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Statistics Database. [Rome]: FAO, 2018.
8. Ftirsearch. What is FTIRsearch.com [online] Available at: <http://ftirsearch.com> [Accessed 27 Jun. 2016]. 2016.

9. Garrigues, J. Direct ATR-FTIR determination of sucrose in beet root. *Talanta*, 51(2), pp.247-255. 2000.
10. Jiménez, B. La caña de azúcar en la Andalucía mediterránea durante el siglo XIX. *Revista de estudios andaluces*, P. 41-66. 1985
11. Joelmy Z., Francisco Y., Natal, V., Saira, M., Liz; C., Patricia N., María M. Empleo de la Espectroscopia Infrarroja (FT-IR-ATR) como herramienta para la Caracterización del bagazo de caña proveniente de la Sierra Falconiana. *Revista Química Viva - Número 3*, año 16, 2017.
12. Kanou M, Kameoka T, Suehara K-i, Hashimoto A Mid-infrared spectroscopic analysis of saccharides in aqueous solutions with sodium chloride. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 81(4):735-42. 2017.
13. Lanuza, L. *Gran Atlas de España*. Madrid: Planeta. 2006.
14. Martínez, J. Espectroscopía infrarroja. 1-Fundamentos. 1st ed. [ebook] p.1. Available at: <http://www.upct.es/> [Accessed 27 Jun. 2016]. 2007.
15. Pan, L., Zhu, Q., Lu, R. McGrath, J. Determination of sucrose content in sugar beet by portable visible and near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 167, pp.264-271. 2015.
16. Pinto, E. O melhor da Horta. *O guia dos produtos saudáveis*. 1ª Edição. Lisboa: Ângora Editora. 2007. ISBN 9789727801916
17. Salas, Y., Colque, M., Lazo, A., Ccorymanya, R., Obregón, C. Obtención y caracterización fisicoquímica y funcional de las fibras dietéticas del níspero común (*mespilus germanica*). 1st ed. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 2008.
18. Sanchez, S. L. Analysis of the influence of environmental variables on carbon content of sugar beet crop and estimation of nitrogen content in leaves by vegetation indices. Doctorado. Universidad de Valladolid. 2016.
19. Silva, A. O.; Ênio, F. S. B; y Antonio, E. K. Desenvolvimento de cultivares de beterraba sob diferentes tensões da água no solo. *Horticultura Brasileira* P.12-18. 2015. ISSN 0102-0536

20. Silva, A., Silva, Ê., Bassoi, L., Klar, A. Desenvolvimento de cultivares de beterraba sob diferentes tensões da Água no solo. *Hortic. Bras.*, 33(1), pp.12-18. 2015.
21. Silverstein, R., Webster, F. Kiemle, D. Identificação espectrométrica de compostos orgánicos. Rio de Janeiro: Grupo Gen - LTC. 2010.
22. Tamaro, D. y Caballero, Artur. *Manual de horticultura*. Barcelona: Gustavo Gili. 1988
23. Villarías-Moradillo, J.L. La Remolacha Azucarera. Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León. 2000.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco al proyecto Dream-ACP por darme la beca. A estas tres personas maravillosas, Dr. Salvador Hernández Navarro y Dr. Henrique Relea Gangas Dr. Jesús Martín Gil, profesores de la universidad de Valladolid, campus Palencia, que siempre estuvieron disponibles para ayudarme. Agradezco también a toda la dirección de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad José Eduardo dos Santos por el apoyo institucional. A Dña. Paula Carrión Prieto por el auxilio técnico para la ejecución de del trabajo.